

© BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

© Patentschrift
① DE 2321101 C2

⑤ Int. Cl. 3:
B01J27/18
C 07 C 29/138

DE 2321101 C2

② Aktenzeichen: P 23 21 101.0-41
② Anmeldetag: 26. 4. 73
③ Offenlegungstag: 14. 11. 74
④ Veröffentlichungstag: 22. 7. 82

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑤ Patentinhaber:

BASF AG, 6700 Ludwigshafen, DE

⑤ Erfinder:

Voges, Dieter, Dipl.-Chem. Dr., 6800 Mannheim, DE; Baer, Karl, Dipl.-Chem. Dr., 6940 Weinheim, DE; Hupfer, Leopold, Dipl.-Chem. Dr., 6701 Friedelsheim, DE; Winderl, Siegfried, Dipl.-Chem. Dr., 6900 Heidelberg, DE; Adam, Karl, Dipl.-Chem. Dr., 6700 Ludwigshafen, DE; Hoffmann, Herwig, Dipl.-Chem. Dr., 6710 Frankenthal, DE

⑤ Entgegenhaltungen:

DE-PS 12 35 879

④ Verfahren zur Herstellung im wesentlichen trägerfreier Kobaltkatalysatoren

DE 2321101 C2

1 Patentansprüche:

1. Verfahren zur Herstellung eines im wesentlichen trägerfreien Kobaltkatalysators, der außerdem Kupfer, Mangan und Phosphorsäure bzw. Phosphat enthält, bei dem man Kobalt, Kupfer, Mangan und Phosphorsäure in Form ihrer wässrigen Lösungen mischt, die Metallsalze ausfällt und bei 400 bis 600°C in die Oxide umwandelt, dadurch gekennzeichnet, daß man die Lösung mittels Alkalimetallcarbonatlösung bei einer Temperatur zwischen 30 und 70°C auf einen pH-Wert von wenigstens 8 bringt, die erhaltene Suspension zur Vervollständigung der Fällung durch Zugabe von weiterer Metallsalzlösung auf einen pH-Wert unterhalb von 7,5 bringt, die ausgefallene Masse gewinnt und trocknet, diese nach der Kalzination abkühlt, gegebenenfalls nach einer Nachwäschung, mit einer Lösung eines Salzes der Molybdänsäure tränkt und durch eine anschließende Säurebehandlung die Molybdänsäure auf der Masse fixiert sowie die Masse formt, trocknet und reduziert, wobei die Mengen der Lösungen jeweils so gewählt werden, daß sich im kalzinierten, nichtreduzierten Zustand 40 bis 60 Gew.-% Kobalt (als Co), 13 bis 17 Gew.-% Kupfer (als Cu), 3 bis 8 Gew.-% Mangan (als Mn), 0,1 bis 5 Gew.-% Phosphor (als H_3PO_4) und 0,5 bis 5 Gew.-% Molybdän (als MoO_3) ergeben.

2. Kobaltkatalysator, dadurch gekennzeichnet, daß er nach dem Verfahren gemäß Anspruch 1 herstellbar ist.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung im wesentlichen trägerfreier Kobaltkatalysatoren, wie sie zur Hydrierung von ein- oder mehrwertigen, insbesondere aliphatischen Carbonsäuren zu den entsprechenden Alkoholen benötigt werden.

Die Gewinnung von Alkoholen durch Hydrierung von Carbonsäuren ist technisch noch nicht befriedigend entwickelt, weil Carbonsäuren unter den Bedingungen, die normalerweise bei der Hydrierung herrschen, z. B. die üblichen Katalysatoren angreifen und auch sonstige Korrosionsprobleme verursachen. Deshalb ist das klassische Verfahren zur Herstellung von Alkoholen aus Carbonsäuren die Hydrierung geeigneter Ester dieser Carbonsäuren.

In der Chemikerzeitung, Jahrg. 95 (1971), Seite 18 sind die Schwierigkeiten, die bei der direkten Hydrierung von Carbonsäuren auftreten, gewürdigt.

Aus der deutschen Patentschrift 12 35 879 ist nun bekannt, daß die direkte Hydrierung von Carbonsäuren zu Alkoholen mit Hilfe bestimmter Katalysatoren gelingt; es sind dies Kobaltkatalysatoren, die außerdem Kupfer und Mangan bzw. Chrom und gegebenenfalls eine anorganische Polysäure enthalten. Die in der genannten Patentschrift beschriebenen Katalysatoren können sowohl trägerfreie Katalysatoren wie Trägerkatalysatoren sein.

Der Erfolg lag die Aufgabe zugrunde, die genannten Katalysatoren, die nach der Erfahrung schwankende und zum Teil unbefriedigende Ergebnisse liefern, zu verbessern, wobei die Verbesserung im einzelnen insbesondere auf längere Lebensdauer, geringere mögliche Reaktionstemperatur und höhere Reaktionsgeschwindigkeiten abgestellt sein sollte.

In der genannten Patentschrift ist u. a. erwähnt, daß sich als anorganische Säuren, die Polysäuren zu bilden vermögen, beispielsweise Schwefelsäure, Borsäure, Phosphorsäure, Molybdänsäure, Vanadinsäure und Wolframsäure eignen. Die genannte Patentschrift enthält weiterhin einen Hinweis der Art, daß die Verwendung von Molybdänsäure oder Vanadinsäure anstelle von Phosphorsäure es erlaubt, die Hydrierstemperatur gegenüber einem Phosphorsäure enthaltenden Katalysator 20°C tiefer zu wählen, jedoch soll die Lebensdauer der Katalysatoren, die in dieser Weise modifiziert sind, geringer sein als die mit Phosphorsäure modifizierten Katalysatoren.

Es wurde nun gefunden, daß man im Sinne der vorstehenden Aufgabe besonders geeignete Kobalt-Katalysatoren, die außerdem Kupfer, Mangan und Phosphorsäure bzw. Phosphat enthalten, erhält, wenn man Kobalt, Kupfer, Mangan und Phosphorsäure jeweils in Form ihrer wässrigen Salzlösungen mischt, die Lösung mittels Alkalicarbonatlösung bei einer Temperatur zwischen 40 und 70°C auf einen pH-Wert von wenigstens 8 bringt, die erhaltene Suspension zur Vervollständigung der Fällung auf einen pH-Wert unterhalb von 7,5 bringt, die ausgefallene Masse gewinnt, trocknet, bei 400 bis 600°C calciniert, die abgekühlte Masse gegebenenfalls nachwäschung, mit einer Lösung eines Salzes der Molybdänsäure tränkt und durch eine anschließende Säurebehandlung die Molybdänsäure auf der Masse fixiert sowie die Masse formt, trocknet und reduziert, wobei die Mengen der Lösungen jeweils so gewählt werden, daß sich im calcinierten, nicht reduzierten Zustand 40 bis 60 Gewichtsprozent Cobalt (als Co), 13 bis 17 Gewichtsprozent Kupfer (als Cu), 3 bis 8 Gewichtsprozent Mangan (als Mn), 0,1 bis 5 Gewichtsprozent Phosphor (als H_3PO_4) und 0,5 bis 5 Gewichtsprozent Molybdän (als MoO_3) ergeben.

Bei dieser Verfahrensweise tritt als überraschender Effekt eine sehr gute Verformbarkeit der kobaithaltigen Grundmasse auf. Gegebenenfalls wird der Katalysator mit Wasserstoff in die Metallform gebracht.

Mit besonderem Vorteil werden nach dem genannten Verfahren solche Katalysatoren hergestellt, die — berechnet als Trioxid und bezogen auf das Gesamtgewicht des Katalysators — 2 bis 4 Gewichtsprozent Molybdän enthalten.

Die Katalysatoren eignen sich besonders zur Hydrierung von ein- oder mehrwertigen — vorzugsweise aliphatischen, 1 bis 20 Kohlenstoffatome aufweisenden — Carbonsäuren zu den entsprechenden Alkoholen, bei einer Temperatur zwischen 150 und 240°C und bei einem Druck von wenigstens 150 atü in einer Atmosphäre aus gasförmigem Wasserstoff.

Mit den Katalysatoren lassen sich besonders solche Carbonsäuren, die normalerweise schwer hydrierbar sind, unterhalb von 225°C hydrieren.

Die Struktur der Katalysatoren hängt naturgemäß von der Herstellung ab und ist für die spezielle Wirkung als Katalysator für die Hydrierung von Carbonsäuren zu Alkoholen wichtig: Die innere Oberfläche, gemessen nach der BET-Methode, liegt zwischen etwa 30 bis 80 m²/g, die Porosität, d. h. der Anteil an Hohlräumen im Katalysatorkorn, beträgt im allgemeinen 0,14 bis 0,24 cm³/g. Aus diesen Angaben ist zu erkennen, daß es sich bei den Katalysatoren gemäß der Erfindung keinesfalls um gesinterte Katalysatoren handelt, deren innere Oberfläche weniger als 20 m²/g beträgt und deren Porosität 0,18 cm³/g nicht überschreitet. Die

physikalischen und chemischen Eigenschaften, die sich ergeben, wenn man genau wie folgt verfährt, sind für alle nach dem o. a. Verfahren erhaltenen Katalysatoren mehr oder weniger typisch.

Man mischt demnach entsprechende Mengen von Kobalt, Kupfer, Mangan und Phosphorsäure jeweils in Form entsprechender Mengen ihrer wäßrigen Lösungen, bringt die Lösung mittels Alkalicarbonatlösung zwischen 45 und 50°C auf einen pH-Wert von etwa 8,5, bringt die erhaltene Suspension zur Vervollständigung der Fällung durch Zusatz der ursprünglichen Metallsalzlösung auf einen pH-Wert unterhalb von 7,5, gewinnt, wäscht, trocknet die ausgefällte Masse, calciniert mit Luft bei 420 bis 540°C, kühlt ab, tränkt mit einer Lösung eines Salzes der Molybdänsäure, fixiert die Molybdänsäure durch eine Säurebehandlung und formt die Masse, calciniert wiederum und reduziert schließlich.

Der Einfluß des Zusatzes vom Molybdän wird durch eine schon bei geringen Zusatzmengen ausgeprägte, überraschende Zunahme des Litergewichts und der Härte sowie einer Abnahme der Porosität ohne Verlust von BET-Oberfläche gegenüber solchen Katalysatoren bemerkbar, die ohne einen solchen Zusatz – etwa entsprechend der deutschen Auslegeschrift 12 35 879 – erhalten worden sind. Gleichzeitig steigt die Aktivität und wird auch besser reproduzierbar.

Zur Herstellung der Katalysatoren geht man zweckmäßig aus von wäßrigen Lösungen gut löslicher Salze der katalytisch wirksamen Metalle, insbesondere deren Nitraten, in Konzentrationen von mehr als 10%, und setzt eine geeignete Menge reiner Phosphorsäure zu.

Die Herstellung der Katalysatoren ist bemerkenswert durch die Beobachtung, daß die Ausfällung der katalytisch wirksamen Substanzen aus wäßrigen Lösungen am besten zweistufig gelingt, wobei Metallsalzlösung und Fällungsmittel gleichzeitig in ein Rührgefäß einlaufen. Als Fällungsmittel in der ersten Stufe dient ein Alkalicarbonat, insbesondere Soda, danach wird mit einer weiteren Menge der gegebenenfalls sauren Lösung der katalytisch wirksamen Metallsalze – der pH-Wert vermindert und die Fällung so vervollständigt.

Man hält in der ersten Stufe einen pH-Wert oberhalb von 8, z. B. von 8,5, ein; die obere Grenze des pH-Wertes wird im allgemeinen so gewählt, daß ca. 60 bis 70% der Metallmengen gefällt werden. Die günstige Fällungstemperatur liegt im Bereich von 30 bis 70, insbesondere bei 45 bis 50°C. Die Verweilzeit der Lösungen in den Rührbehältern beträgt ca. 1 bis 2 Stunden; sie ist jedoch nicht kritisch.

In der zweiten Stufe wird durch vorsichtiges Ansäuern, d. h. Zugabe von Metallsalzlösung, die Fällung vervollständigt, wobei ein pH-Wert von 6,8 bis 7,5 eingehalten werden sollte. Danach wird die filtrierte Masse gewaschen und getrocknet.

Man kann das vorstehend beschriebene zweistufige Verfahren in der 2. Stufe kontinuierlich oder absatzwei-

se durchführen. Bei kontinuierlicher Arbeitsweise wird beispielsweise die Metallsalzlösung zusammen mit Natriumcarbonat einem ersten Rührkessel kontinuierlich zugeführt, aus dem gerührten Kesselinhalt eine entsprechende Menge fortlaufend in einen zweiten Rührkessel überführt und in diesem zweiten Rührkessel durch Zugabe von weiterer Metallsalzlösung die Fällung vervollständigt.

Man kann aber auch die bei pH 8 im ersten Kessel teilweise gefällte Suspension in ca. 8 Stunden ansammeln und relativ rasch in ca. 0,5 bis 1,5 Stunden neutralisieren, wodurch sich eine teilweise diskontinuierliche Betriebsweise ergibt. Die getrocknete Carbonatfällung besitzt in diesem Falle in der Regel eine etwas kleinere Oberfläche (z. B. etwa 80 bis 90 m²/g gegenüber einer inneren Oberfläche von 120 bis 130 m²/g, wie sie bei einer geeigneten kontinuierlichen Betriebsweise erhalten wird). Die beobachtete Aktivität des Katalysators ist aber auch bei diskontinuierlicher Herstellungsweise befriedigend; der Unterschied in den Aktivitäten der jeweiligen Kontakte entspricht etwa den gemessenen inneren Oberflächen, obwohl die beobachteten Strukturen der Carbonatfällungen sich durch ihr Röntgendiagramm unterscheiden.

Wesentlicher Bestandteil der Erfindung ist nun die Behandlung des trockenen, aus den Carbonaten durch Glühen erhaltenen Oxidgemisches mit einer Molybdänenthaltenden Lösung.

Man behandelt deninach zunächst das Gemisch der Carbonate bzw. Phosphate von Kobalt, Kupfer und Mangan bei etwa 400 bis 600°C, insbesondere 420 bis 540°C (zweckmäßig mit Luft), läßt abkühlen, wäscht vorteilhaft nochmals mit reinem Wasser und teigt das erhaltene Oxidpulver mit einer z. B. wäßrigen Ammoniummolybdatlösung (20 bis 25 g MoO₃/100 ml) an. Durch Ansäubern mit Salpetersäure wird Molybdäntrioxid auf den Katalysator aufgefällt; die erhaltene Masse, die eine geeignete Konsistenz haben sollte, wird dann am besten direkt zu Strängen, Perlen oder Tabletten verformt, die in üblicher Weise nochmals kalziniert und dann im Wasserstoffstrom reduziert werden. Die Zugabe von MoO₃ auf diese Weise ergibt eine deutliche Verbesserung der Verformbarkeit.

Die Wirkung der Nachbehandlung mit Molybdänverbindungen ist überraschend: Wie sich aus der nachfolgenden Tabelle ergibt, nimmt das Litergewicht und die Härte eines mit Molybdän behandelten Katalysators gegenüber einem un behandelten Katalysator beträchtlich zu; gleichzeitig nimmt die Porosität mäßig ab. Die Härtezunahme ist natürlich für den technischen Wert des Katalysators außerordentlich wichtig. Überraschenderweise wird darüber hinaus eine ganz beträchtlich gesteigerte Hydrierungsgeschwindigkeit beobachtet: Unter vergleichbaren Bedingungen steigt z. B. der Umsatz von Adipinsäure zum Hexandiol von 55% an einem Kontakt ohne Molybdäntrioxid auf 99% an einem solchen mit 4% Molybdänoxid.

Tabelle

	Litergewicht: g/l	Porosität cm ³ /g	Härtezahl
1) Kontakt ohne MoO ₃	1350	0.26	200
2) Kontakt mit 1% MoO ₃	1660	0.29	688
3) Kontakt mit 2% MoO ₃	1540	0.20	620
4) Kontakt mit 4% MoO ₃	1700	0.16	524

BEST AVAILABLE COPY

Die Oberfläche nach BET wird trotz Verminderung der Porosität z. B. bei 4) gegenüber 1) nicht wesentlich verändert.

Der Katalysator eignet sich je nach äußerer Form als Füllung für einen geeigneten Druckreaktor, z. B. einen druckfesten Reaktionsturm (Festbettverfahren) oder zur Suspension in einem entsprechenden flüssigen Medium. Es bedarf nicht der Erwähnung, daß für beide Verwendungszwecke ein besonders abriebfester harter Katalysator von großer Wichtigkeit ist.

Für das Hydrierverfahren sind — wie eingangs erwähnt — ein- oder mehrwertige Carbonsäuren, insbesondere der aliphatischen oder cycloaliphatischen Reihe mit z. B. 1 bis 20 C-Atomen geeignet.

Im Prinzip ist der Katalysator aber auch zur Umwandlung anderer, z. B. aromatischer oder olefinischer ungesättigter, ein- oder mehrwertiger Carbonsäuren in die entsprechenden — gegebenenfalls gesättigten — Alkohole und für andere Hydrierungen geeignet. Ein entsprechendes Beispiel wird nachstehend gegeben. Die zu hydrierenden Verbindungen können, von der Carbonsäuregruppe abgesehen, Kohlenwasserstoffstruktur haben oder substituiert sein. Die Substituenten können z. B. nicht hydrierbare, wie Amino- oder Hydroxylgruppen, oder hydrierbare, etwa NO_2 -Gruppen, sein.

Von den geeigneten Ausgangsstoffen seien beispielsweise genannt: Essigsäure, Propionsäure, Buttersäure, Stearinsäure, Ölsäure, Bernsteinsäure, Adipinsäure, Dodecandisäure-(1,12), Benzoësäure, Terephthalsäure, Isophthalsäure, Naphthalin-(1,8)-dicarbonsäure, Phenylessigsäure, Cyclohexancarbonsäure, Hexahydroterephthalsäure, ϵ -Hydroxyacrypänsäure, p-Nitrobenzoësäure, Salicylsäure, m-Aminobenzoësäure, β -Amino- α -opionsäure und Brenztraubensäure. Selbstverständlich lassen sich auch Gemische von Carbonsäuren hydrieren. Ein Beispiel dieser Art ist das technische Carbonsäuregemisch aus Mono- und Dicarbonsäuren, das bei der katalytischen Oxydation von Cyclohexan mit Luft als Nebenprodukt anfällt.

Die Hydrierung der mono- oder polyfunktionellen Carbonsäuren findet in wäßrigen oder alkoholischen Lösungen oder in einer Mischung von Wasser und Alkohol statt, wobei zweckmäßigerweise die hydrierte Verbindung — d. h. normalerweise ein Alkohol — als Verdünnungsmittel dient.

Die Verdünnung wird bevorzugt so gewählt, daß der Temperaturanstieg in adiabatisch betriebenen Reaktoren pro Durchgang 30°C nicht überschreitet. Geeignete Hydriertemperaturen liegen zwischen 150 und 250°C , insbesondere zwischen 190 und 230°C , der Druck sollte mindestens 100 bis 150 bar betragen, bevorzugt sind 150 bis 280 bar; höherer Druck ist zwar nicht von Nachteil, aber im allgemeinen ohne Vorteil.

Für die spezielle Verfahrensweise des Hydrierens an einem fest angeordneten Katalysator ist noch zu bemerken: Man verwendet im allgemeinen Preßlinge in Strangform mit einem Durchmesser von 3 bis 5 mm und einer Länge von ca. 5 bis 15 mm oder Kugeln mit einem Durchmesser im Bereich von etwa 3 bis 5 mm. Anders geformte Katalysatorpartikel haben in der Regel ein der Kugelform etwa entsprechendes Volumen oder äußeres Maß.

Die Reaktionsbedingungen werden in diesem Falle so gewählt, daß eine gleichmäßige Versorgung der Katalysatorkugeln mit Flüssigkeit gesichert ist; z. B. beträgt der Flüssigkeitsdurchsatz zwischen 20 und $40 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ (die Querschnittsfläche in Quadratmetern

bezieht sich auf den leeren Reaktor). Der Gasdurchsatz (die Gasbelastung) kann dann ebenfalls bei z. B. 20 bis $40 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ liegen (wiederum bezogen auf den leeren Reaktor, bei 20°C).

Beispiel 1

Katalysatorherstellung

10 Ein Katalysator (1) wird hergestellt durch zweistufiges Fällen eines Gemisches von Nitratlösungen, bestehend aus $38,3$ kg einer $12,6\%$ Kobalt enthaltenden Kobaltnitratlösung, $6,53$ kg einer $15,3\%$ Kupfer enthaltenden Kupfernitratlösung, $2,78$ kg einer $12,6\%$ Mangan enthaltenden Mangannitratlösung und $0,199$ kg einer $75,3\%$ Phosphorsäure mit 20% iger Sodalösung. Dabei wird folgendermaßen verfahren: In einem ersten Rührbehälter (Nutzinhalt 6 l) wird die Nitratlösung, die einer Menge von etwa $1,5$ kg Oxid/h entspricht, bei 50°C mit so viel Sodalösung unter gutem Rühren versetzt, daß ein pH von $8,5$, mit einer Glaselektrode gemessen, aufrechterhalten wird. Die unvollständige Fällung wird in einem zweiten Rührbehälter dann ebenfalls kontinuierlich mit weiterer Metallsalzlösung auf einen pH von $6,8$ bis $7,5$ gebracht, wobei die Fällung vollständig wird. Die Fällung wird gewaschen und getrocknet.

15 Dabei erhält man ein basisches Carbonat mit einer BET-Oberfläche von $129 \text{ m}^2/\text{g}$. Dieses Carbonat wird dann bei einer Temperatur im Bereich von 420 bis 540°C im Luftstrom zu Oxid zersetzt und mit voll entsalztem Wasser das restliche Alkali herausgewaschen. 4 kg des gewaschenen und getrockneten Oxids werden nun in einem Kneter mit 652 g einer $25,5\%$ igen MoO_3 enthaltenden Auflösung von technischem Molybdänoxidhydrat in wäßriger Ammoniaklösung versetzt und durch Kneten vermischt. Man gibt außerdem die bei den Waschprozessen verlorene Phosphorsäure zu, trägt in den Kneter dann 285 g einer $65,3\%$ igen HNO_3 und 1300 g vollentsalztes Wasser ein und knetet intensiv $2,5$ Stunden. Die Masse wird dann zu Strangpreßlingen verformt, getrocknet und bei 500°C 6 Stunden kalziniert. Die erhaltenen Strangpreßlinge haben einen Durchmesser von 4 mm, ein Schüttgewicht von 1700 g/l und eine Porosität von $0,16 \text{ m}^3/\text{g}$, die Härtezahl beträgt 524 .

20 Die Härtezahl wird folgendermaßen bestimmt:

25 Man belastet 25 Strangpreßlinge mittels einer Schneidevorrichtung nacheinander mit steigendem Gewicht von 1 ; 2 ; $3 \dots \text{kg}$, bis alle Preßlinge zerstört sind.

30 Man notiert die Zahlen der bei den einzelnen Belastungen unzerstört gebliebenen Preßlinge und drückt sie als Prozentzahlen, bezogen auf die ursprüngliche Anzahl Körner (25) aus. Die Summe aller Prozentzahlen ergibt die Härtezahl.

35 Ein aus dem gleichen Oxid hergestellter Katalysator ohne aufgefallenes Molybdänoxid hat ein Schüttgewicht von 1360 g/l und eine Porosität von $0,26 \text{ m}^3/\text{g}$ sowie eine Härtezahl von 200 . Die BET-Oberflächen beider Kontakte betragen etwa $55 \text{ m}^2/\text{g}$.

Beispiel 1a

Hydrierung

40 Mit dem nach Beispiel 1 hergestellten Katalysator wird ein $13\,500$ Gewichtsteile fassender Rohrreaktor gefüllt und der Katalysator in üblicher Weise reduziert,

BEST AVAILABLE COPY

bis etwa 85% der theoretischen Wassermenge angefallen sind.

Es soll nun ein technisches Gemisch von Säuren, die als Nebenprodukte bei der Oxidation von Cyclohexan anfallen, bestehend zu 85% aus Oxycapronsäure und Adipinsäure im Verhältnis 1:1 sowie kurzketigeren Dicarbonsäuren, hydriert werden. Nach dem Aufheizen auf 205°C und bei einem Wasserstoffdruck von 280 bar werden stündlich 3500 Gewichtsteile einer 37%igen wäßrigen Lösung des Säuregemisches dem Reaktor zugeführt, vom ablaufenden Gemisch werden nach Entfernung der niedrigsiedenden Alkohole und des Reaktionswassers 7500 Gewichtsteile je Stunde zurückgeführt. Man erhält eine Gesamtflüssigkeitsbelastung

bezogen auf den leer gedachten Reaktorquerschnitt von 23 m²/m²/h und eine effektive Wasserstoffbelastung von 25 m³/m²/h (Gasmenge bei 280 bar, wobei eine entsprechende Gasbewegung durch die übliche Kreisgasführung aufrechterhalten wird).

Das Zulaufgemisch hat eine Säurezahl von 62 und eine Esterzahl von 25. Das rohe, durchhydrierte Gemisch hat eine Säurezahl von 1,8 und eine Esterzahl von 3,9. Nach dem Abtrennen des Wassers und der einwertigen Alkohole wird das rohe Diolgemisch fraktioniert. Man erhält aus jeweils 1000 Gewichtsteilen Rohdiol 850 Gewichtsteile Hexandiol-1,6, was einer Ausbeute, bezogen auf Adipin- und Oxycapronsäure, von 91% entspricht.